

補助事業番号 28-141
補助事業名 平成28年度 放射能汚染水中のトリチウム分離技術の開発研究 補助事業
補助事業者名 東海大学 工学部 機械工学科 木村啓志

1 研究の概要

本研究では、放射能汚染水内のトリチウムの新規分離技術として熱泳動と呼ばれる特殊な物理現象を応用したマイクロ流体デバイスの開発とその評価を実施した。熱泳動とは、温度勾配のある空間で分子間相互作用によりあらゆる分子が特異性を持って輸送される現象である。本研究ではこの近代非平衡物理学で研究が進められている分子輸送現象を、マイクロ流体デバイスに応用することで、これまで不可能と考えられてきたトリチウム分離を実現した。

2 研究の目的と背景

東日本大震災で被害を受けた福島原子力発電所では現在も放射能汚染水が増え続けている。放射性同位体のひとつトリチウムは、水素の同位体でありトリチウム水（HTO）として存在することから原理的に水（H₂O）との分離が困難であり、トリチウム水は止むを得ず海洋に放出されつつあり大きな社会問題になっている。一方、カナダの原子力発電所ではトリチウムが環境中へ放出され、遺伝障害や新生児死亡などの優位な増加が認められている。このようなことから、放射能汚染水からトリチウムを分離・回収するための技術の構築が急務である。本研究では、原子力発電所で問題になっている放射性物質の中でも、汚染水から取り除くことができないトリチウム（T）を回収するための新たな環境浄化手法（トリチウム分離手法）を開発する。現在使用されている多核種除去装置（ALPS）では原理的に分離が困難なトリチウムを、安全かつ安価に回収するための技術開発であり、機械工学の研究分野で発展と遂げているマイクロ流体デバイス技術と非平衡熱力学の最先端の知見の融合により達成される新規分離技術である。

3 研究内容

(1) 放射能汚染水中のトリチウム分離技術の開発 (<http://www.kimura-lab.info/>)

本研究では放射能汚染水中のトリチウムを分離するための新規手法として、熱泳動を活用した液中成分分離を実現するマイクロ流体デバイスの開発、および水素同位体の分離法を確立した。マイクロ流体デバイスへの応用によって、微小空間効果による分離の効率化と、連続的なトリチウム分離と回収が実現可能となる技術開発を目的とした。

平成28年度には、流体内に温度勾配を付与することで生じる熱物質拡散によって、濃度勾配が形成される現象（熱泳動現象）を利用することで、水素の放射性同位体であるトリチウムを放射性汚染水から分離するためのマイクロ流体デバイスのプロトタイプを開発した。開発し

たデバイスは2層のポリジメチルシロキサン（PDMS）製の流路壁部と伝熱性の良好なアルミ製の流路上下部から構成され、溶液導入口部、温調部、層流現象を利用して物質分離を実現するために上下に分岐した排液口部の役割の異なる3つの流路で構成される。熱泳動現象により分離が可能なmethyl- β -cyclodextrin/water (m β cd) 1.0wt%溶液を用いて開発したプロトタイプデバイス内での溶液成分分離試験を行い、分離機能を有するデバイスの開発を実現した。しかしながら、プロトタイプデバイスでは温度勾配および温調時間の増加が構造上困難であることが判明した。そこで平成29年度には、分離効率向上を目的として、温度勾配の増加および温調時間の増加を実現するためプロトタイプデバイスの改良を行った。上下2層の流路を構成する材質を複雑な形状の流路をより容易に加工可能なPETシートへ変更し、2層の流路間にPETシート製分離用整流板を設けることで流れの安定化を図った。また、温調部の流路形状に変更することにより流路長および流路体積の増加によって流量に対する相対的な温調時間の増加を可能にした。改良したデバイスを用いてプロトタイプと同様にm β cd 1.0wt%溶液の分離実験を実施し、温度勾配および温調時間と濃度差の関係性から分離効率向上に向けた知見を得た。平成29年度下半期には、さらなる分離効率向上のため流路上下部をガラス板から伝熱性の高いステンレス板へ変更し、分離条件の最適化を図った。作製したデバイスの機能評価のためm β cd 1.0wt%溶液を用いて分離実験を実施し、濃度勾配が定常状態に達する至適な温調時間を決定するために温調時間に対する分離効率を評価した。この機能評価より、流路上下部をステンレス板とすることでガラス板を用いて作製したデバイスと比較して分離性能が向上することを明らかにした。

さらに本研究では、水素同位体の成分分離に向けて、デューテリウムを持つ水分子である重水分離実験を実施した。その結果、m β cd分離実験と同様に低温側の濃度が増加し、対照的に高温側の濃度減少がみられた。m β cdの温調時間が3分で濃度差が一定となったのに対して、重水分離では温調時間1分の時点で濃度差が一定となり、濃度勾配が定常状態に達した。これは重水の分子量が小さく、拡散速度が増加することで定常状態に達するまでの温調時間が減少し、時間当たりの分離効率が向上したためと考えられる。平成29年度は改良したデバイス材料を変更し、温度勾配の増加によって分離性能を向上させた。さらに分離機能の評価を行い、熱拡散現象による成分分離および分離性能の向上を確認した。加えて、水素同位体を持つ重水溶液の分離実験を実施し、開発したシステムが重水溶液の成分分離を実現することが示された。

以上の通り、本研究では、熱泳動現象を活用した液中成分分離デバイスを開発するとともに、その機能評価および分離効率向上に向けた最適化検討を実施した。これらの結果から、本研究で開発した分離システムのトリチウム分離への応用可能性が示唆された。

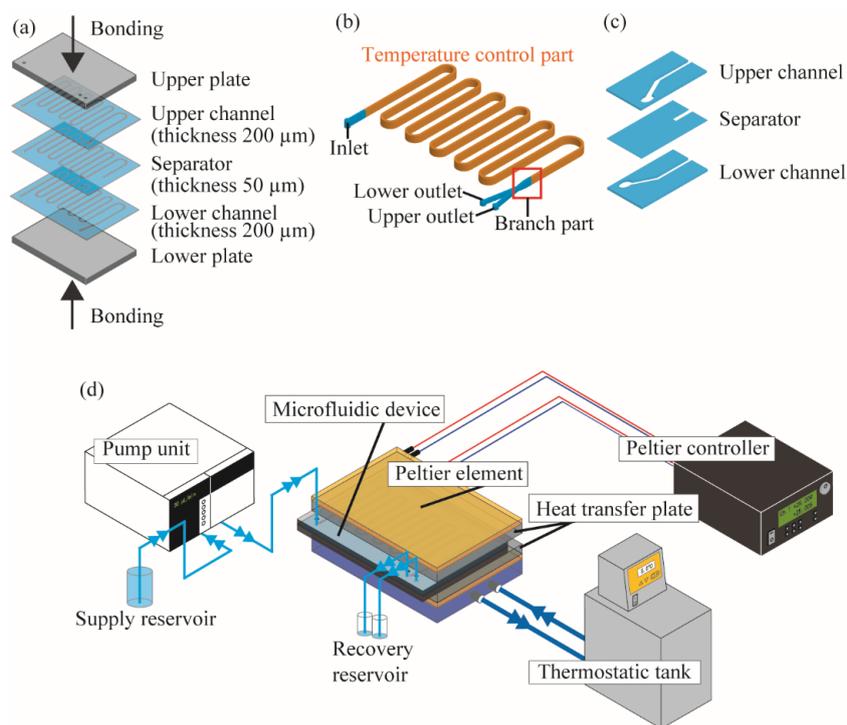


図1 デバイスデザインおよびシステムの外観図
 (a)デバイス概略図、(b)流路デザイン図、(c)分岐部の構造、(d)システムセットアップ図

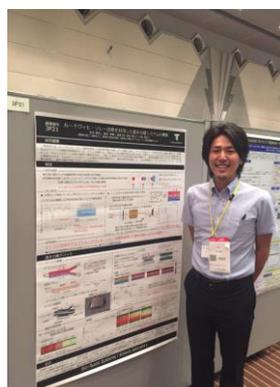


図2 学会で研究発表する研究代表者

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

食物連鎖等でトリチウムが生体内に取り込まれると、DNAやタンパク質のH原子と置き換わり深刻な内部被ばくを起こす。このことから、本研究で開発される技術の受益者は日本国民のみならず、地球上に存在する全生命体といっても過言ではない。経済産業省でもトリチウム水タスクフォース委員会を発足し、その除去技術を広く募集しているものの、これまでに採用された企業や団体は未だ存在していない。このことから、これまでにない新たなトリチウム分離技術の確立が急務であった。本研究で得られた知見は、放射能汚染水からのトリチウム除去を実現するシステムの開発への糸口となり得る。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究は、研究代表者が専門としているマイクロ流体デバイス技術の新たな分野への応用開拓の足がかりとなったという点で、非常に有意義なものとなった。マイクロ流体デバイスは主に生命科学や医療の研究分野で発展を成し遂げてきた技術であったが、本研究を通じて、原子力分野という新たなパラダイムを開拓するに至った。また、本研究に携わった4名の学生が、いずれもものづくり関連企業に就職したことも、本事業の社会貢献の一つであると考えられる。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

【知財等】

(1) 国内出願 (1件)

①水素同位体を含む水の分離方法、喜多理王、木村啓志、諸星和、学校法人東海大学、2016年5月31日、特願2016-109028

【発表論文等】

(1) 論文発表 (国内 (和文) 1誌 1件)

①宮本隼佑、亀崎勇暁、諸星和、喜多理王、木村啓志、ルードヴィヒ・ソレー効果を利用した重水分離システムの構築、化学とマイクロ・ナノシステム学会会誌 16巻1号 2017年 (優秀発表賞受賞)

(2) 学会発表 (国際学会 2件、国内学会 5件)

①S. Miyamoto, DEVELOPMENT OF LIQUID COMPONENT SEPARATION DEVICE FOR SEPARATION OF WATER MOLECULE ISOTOPE USING LUDWIG SORET EFFECT, MicroTAS 2017, 2017/10/23, Savannah International Trade & Convention Center, USA.

②宮本隼佑, 熱泳動現象を応用した水分子同位体分離システムの構築, 日本機械学会2017年度年次大会, 2017/9/4, 埼玉大学 (さいたま市)

③ S. Miyamoto, Development of Liquid Component Separation Device based on Thermophoresis Effect, MNTC International Symposium 2017, 2017/8/27, Tokai University, Hiratsuka

④宮本隼佑, ルードヴィッヒ・ソレー効果を利用した水分子同位体分離システムの構築, 東海大学マイクロ・ナノ啓発会 第8回学術講演会 (T μ ne8), 2017/2/25, 東海大学 (平塚市)

⑤諸星和, ルードヴィッヒ・ソレー効果による重水-軽水分離のためのマイクロ流体デバイスの開発, 日本機械学会2016年度年次大会, 2016/9/13, 九州大学 (福岡市)

⑥宮本隼佑, ルードヴィッヒ・ソレー効果を利用した重水分離システムの構築, 化学とマイクロ・ナノシステム学会 第34回研究会, 2016/9/6, 幕張メッセ国際会議場 (千葉市)

⑦宮本隼佑, ソレ-効果を利用したトリチウム分離システムの構築, 東海大学マイクロ・ナノ啓発会 第7回学術講演会 (T μ ne7), 2016/8/9, 東海大学 (平塚市)

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

該当なし

(2) (1)以外で当事業において作成したもの

1. 宮本隼佑、亀崎勇暁、諸星和、喜多理王、木村啓志、化学とマイクロ・ナノシステム学会会誌 16巻1号 pp.47-48 2017年

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 東海大学 工学部機械工学科 木村研究室

(とうかいだいがく こうがくぶきかいこうがつか きむらけんきゅうしつ)

住 所： 〒259-1292

神奈川県平塚市北金目4-1-1

申 請 者： 准教授 木村啓志 (じゅんきょうじゅ きむらひろし)

E - m a i l : hkimura@tokai-u.jp

U R L : <http://www.kimura-lab.sakura.ne.jp/wordpress/>